

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN UNA VIVIENDA DEL
BARRIO EL CRISTO
MUNICIPIO DE ENVIGADO
CARRERA 24 D No. 40 SUR 180 - 112

SERGIO ESCOBAR ISAZA
LUIS ALBERTO LÓPEZ PÉREZ

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2003

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN UNA VIVIENDA DEL
BARRIO EL CRISTO
MUNICIPIO DE ENVIGADO
CARRERA 24 D No. 40 SUR 180 – 112

Trabajo de Grado Social para optar al título de Ingeniero Civil

Responsable Planeación de Envigado.

Doctora

OLGA INÉS RESTREPO.

Director.

RUBÉN DARÍO HERNÁNDEZ PÉREZ

Ingeniero Civil.

Asesor

PEDRO LUIS ESCOBAR RUIZ

Ingeniero Civil

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA

INGENIERÍA CIVIL

ENVIGADO

2003

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN UNA VIVIENDA DEL
BARRIO EL CRISTO
MUNICIPIO DE ENVIGADO
CARRERA 24 D No. 40 SUR 180 – 112

Nota de aceptación.

Responsable Planeación de Envigado.

OLGA INÉS RESTREPO

Doctora.

Director.

RUBÉN DARÍO HERNÁNDEZ PÉREZ

Ingeniero Civil.

Asesor.

PEDRO LUIS ESCOBAR RUIZ.

Ingeniero Civil.

Envigado, Julio ____ de 2003.

CONTENIDO.

	Pág
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	11
1. GENERALIDADES	12
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 General	12
1.2.2 Específicos	12
1.3 JUSTIFICACIÓN	13
1.4 DELIMITACIÓN Y CONTEXTO.	
1.5 ÁREA DE ESTUDIO	14
2 MARCO TEÓRICO.	
2.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	
2.2 ESTUDIO PRELIMINAR	20
2.3 INFORMACIÓN PREVIA	20
2.3.1 Técnica	20
2.3.2 Histórica	20
2.4 INSPECCIÓN VISUAL	21
2.5 RECOLECCIÓN DE DATOS	22
2.6 ESPECTRO DE DISEÑO S_a	22
2.7 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	23
2.8 ESTUDIO DETALLADO	24
2.9 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	

2.10	CHEQUEO Y CORRECCIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS	25
2.10.1	Chequeo a cortante	25
2.10.2	Recomendaciones y correcciones	26
2.10.3	Chequeo a compresión	27
2.10.4	Recomendaciones y correcciones	27
2.10.5	Chequeo a flexocompresión	28
2.10.6	Recomendaciones y correcciones	28
2.11	PROPUESTA ESTRUCTURAL	29
2.12	ANÁLISIS DE CARGAS	29
2.12.1	Cargas verticales	30
2.12.1.1	Carga muerta	30
2.12.1.2	Carga viva}	
2.12.2	Cargas horizontales	31
2.13	MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE	32
2.14	CENTRO DE MASA Y CENTRO DE RIGIDEZ	32
2.15	EFFECTOS TORSIONALES	33
2.15.1	Torsión accidental	33
2.15.2	Torsión debida a la no coincidencia del centro de masa y el centro de rigidez	34
2.15.3	Diafragma rígido en su propio plano	
2.15.4	Momento torsional	34
2.16	NORMATIVIDAD PARA UN ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	
3	DISEÑO METODOLÓGICO	18
3.1	METODOLOGÍA GENERAL	18
3.2	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN.	19
4	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1	ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES	38
4.1.1	Mampostería actual	

4.1.2	Mampostería propuesta	38
4.1.3	Concreto propuesto	38
4.1.4	Acero propuesto	39
4.2	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y CIMENTACIÓN	39
4.2.1	Grupo de uso	39
4.2.2	Sistema estructural	40
4.2.3	Tipo y número de placas	40
4.2.4	Altura máxima	40
4.2.5	Tipo de cimentación	41
4.2.6	Capacidad portante	41
4.3	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	41
4.4	FORMULACIÓN DE PROPUESTAS	42
4.4.1	Propuestas estructurales para mitigar la vulnerabilidad	42
4.4.2	Gráficas descriptivas de las propuestas estructurales	43
4.4.2.1	Refuerzo a flexión	43
4.4.2.1.1	Primer nivel	43
4.4.2.1.2	Segundo nivel	44
4.4.2.2	Refuerzo a tracción	46
4.4.3	Costos de la propuesta	47
	CONCLUSIONES	48
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	50

RESUMEN

El estudio de vulnerabilidad sísmica consiste en determinar la capacidad de respuesta estructural de una edificación ante una solicitud sísmica, y con base en este resultado, analizar si se debe o no, y en qué forma, intervenir la estructura al fin de mejorar su comportamiento estructural.

Según la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR98), la vulnerabilidad sísmica es la cuantificación del potencial de mal comportamiento de una edificación, el entorno o las personas con respecto a una sollicitación sísmica. Debido a que el problema incide directamente con la protección de vidas humanas, la elaboración del estudio realizado es de gran importancia, pues de las recomendaciones estructurales elaboradas depende el bienestar de la comunidad.

El estudio básicamente comprende las siguientes actividades:

- Levantamiento arquitectónico de la edificación.
- Estudio de planos arquitectónicos.
- Visita a la edificación para verificar la información suministrada en los planos arquitectónicos, identificar sistema estructural y elementos estructurales y evaluar el estado estructural.
- Análisis de la información y evaluación de la vulnerabilidad sísmica.
- Propuestas para reducir la vulnerabilidad sísmica.
- Diseño de elementos estructurales propuestos.
- Corrección de los planos estructurales.
- Elaboración de planos estructurales.

ABSTRACT

The seismic vulnerability consist on determining the structural answer capacity of a construction before a seismic solicitation and based on this result analyze if it is good or not to do, and in which way the structure should be intervned to finally improve its structural behavior.

According with seismoresistent Colombian rule (NSR98) the seismic Vulnerability is the quantification of the potential presented with the wrong behavior of a construction, the environment or people concerned with a seismic solicitation. Due to the seismic problem fall into the protection of human lives, the elaboration of this study has a big importance. The well being of the community will depend on the structural recommendations.

The study includes basically the following activities:

- Architectural rising of the construction.
- An study of the architectural planes.
- Visit the construction in order to: Verify the information given in the architectural planes, identify structural system and structural elements, evaluate structural state and determine the quality of the materials.
- Analyze the information and evaluate the seismic vulnerability.
- Make proposals to reduce the seismic vulnerability.
- Design the structural elements proposed above.
- Correct the architectural planes.
- Elaborate the structural planes.

INTRODUCCIÓN

La Escuela de Ingeniería de Antioquia creó como trabajo de grado la opción de practica en trabajo social, para así contribuir de cierta manera a resolver algunos de los problemas de ingeniería que se presenten dentro de las comunidades de bajos recursos con las cuales se trabaja.

De esta forma se adquiere un gran complemento en la formación académica y al mismo tiempo se fortalece la parte humana al trabajar con la comunidad.

Este trabajo se desarrolla mediante un convenio que la Escuela tiene con entidades no gubernamentales, entidades de carácter público, entre otras, las cuales cumplen un objetivo común orientado al bien de la sociedad.

En este caso en particular se trabajó en un proyecto liderado por la Secretaria de Planeación del Municipio de Envigado que pretende legalizar los predios de algunos sectores del municipio que se han ido creando a traves del tiempo en forma de invasión y sin seguir los procesos legales que hacen parte de la adquisición, construcción y habitabilidad de predios propios.

Uno de los requisitos que deben cumplir los pobladores de dichos sectores para legalizar sus viviendas es presentar un diseño estructural que contemple un mínimo de requisitos sismo-resistentes que asigna el municipio con el fin de facilitar la legalización de los predios, es aquí donde los estudiantes de Ingeniería Civil de la Escuela toman parte en este proceso haciendo un análisis de vulnerabilidad sísmica en las estructuras asignadas por Planeación de Envigado

(viviendas Barrio El Cristo) y presentar propuestas de intervención estructural para que se cumpla con los requisitos necesarios y llevar a buen término el proceso de legalización de predios prevista por tal entidad.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para el procedimiento de legalización de predios del Municipio de Envigado es indispensable contar con un estudio de vulnerabilidad sísmica de las viviendas; y con ello brindar a sus habitantes no sólo el trámite en sí, sino también aumentar el nivel de seguridad que se presenta en sus edificaciones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Desarrollar un estudio de vulnerabilidad sísmica, donde se evalúe la capacidad de respuesta estructural de la vivienda, ante un evento sísmico, al mismo tiempo proponer soluciones para corregir posibles errores constructivos y evitar el colapso de la estructura en caso del evento; asegurando con ello la vida de sus habitantes y la preservación de los bienes materiales.

1.2.2 Específicos

- Conocer el estado actual de la estructura para determinar su vulnerabilidad y diseñar las propuestas para mitigarla.
- Adquirir conocimientos en el tema de vulnerabilidad sísmica, que permitan desarrollar futuros trabajos en este campo de la ingeniería.
- Trabajar en conjunto con la comunidad presente en la zona de estudio, interactuando y hablando con ellos sobre la importancia que tiene tanto para ellos como para todos la prevención de desastres y sobre el desarrollo del estudio, a la vez conocer sus necesidades, buscando con esto complementar el trabajo con lo social.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El estudio de vulnerabilidad sísmica que se realiza, tiene para los futuros ingenieros y para la comunidad que se beneficia de él, una gran importancia. A los futuros ingenieros les da la oportunidad de investigar y desarrollar un tema valorado, no sólo a nivel nacional, sino internacional.

Los estudios de vulnerabilidad sísmica han cobrado gran importancia, desde que los eventos sísmicos han causado pérdidas humanas y daños a la infraestructura de las naciones. Por esto, el tema se ha convertido en algo interesante y muy aplicable en el desarrollo de los ingenieros.

El estudio que se realizará a la vivienda, permitirá llevar a cabo una investigación y una práctica, permitiendo adquirir conocimientos en un tema poco desarrollado hasta ahora.

Aunque este trabajo está planteado como un requisito para obtener el título de Ingeniero Civil, en realidad encierra mucho más, ya que con él, se espera afianzar y poner en práctica una serie de conocimientos adquiridos, teniendo como fin ayudar a la comunidad.

No obstante el trabajo no constituye el acompañamiento continuo de parte de la comunidad, finalizará con una socialización que permita transmitir los conocimientos más importantes adquiridos sobre el tema.

1.4 DELIMITACIÓN Y CONTEXTO

El inmueble beneficiado con este estudio, esta situado en el Municipio de Envigado y forma parte de un asentamiento ilegal en la zona alta del sector el Salado, en el barrio el Cristo, más específicamente en la dirección Carrera 24D No. 40 sur 180 –112.

1.5 ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo social que se realizó surge como un convenio que se lleva a cabo entre la escuela y el departamento de planeación del municipio de Envigado, quién pretende dar legalidad a una serie de viviendas.

Las viviendas se encuentran ubicadas en el barrio El Cristo, corresponde a este estudio evaluar la vulnerabilidad de la vivienda ubicada en Carrera 24D No. 40 sur 180 –112, este estudio constituye uno de los requisitos necesarios para dar término al proceso de legalización de predios previsto por el municipio de Envigado.

El contacto se realizó por medio del director de carrera en la escuela, el Ingeniero Rubén Darío Hernández Pérez, quién nos planteó la posibilidad de realizar el trabajo social estudiando la vulnerabilidad en una serie de viviendas definidas previamente con el departamento de planeación del municipio de Envigado; quien a su vez designó a la Ingeniera Olga Inés Restrepo como la persona encargada de coordinar el trabajo dentro de la entidad.

Se realizó la visita al barrio en compañía del Ingeniero Pedro Luis Escobar Ruiz, persona asignada por la escuela para orientar la labor y encaminar el proceso; se distribuyen las viviendas al interior del barrio y se da comienzo al estudio de vulnerabilidad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

El objetivo de un estudio de vulnerabilidad sísmica, consiste en determinar la capacidad de respuesta estructural de una edificación ante una sollicitación sísmica y con base en este resultado, analizar si se debe o no y en que forma, intervenirla a fin de mejorar su comportamiento estructural.

La finalidad del estudio de vulnerabilidad es realizar una propuesta estructural encaminada a capacitar la estructura para:

- Resistir sismos pequeños sin presentar ningún tipo de daño.
- Resistir sismos moderados sin presentar daño estructural pero admitiendo algún daño en elementos no estructurales.
- Resistir un sismo fuerte sin colapso.

2.2 ESTUDIO PRELIMINAR

La recolección de información preliminar le permitirá al ingeniero evaluar y calificar la estructura de una manera cualitativa y posteriormente utilizar estos resultados en el análisis detallado, que se describe más adelante.

Para esto, se deben realizar una serie de investigaciones sobre la edificación.

2.3 INFORMACIÓN PREVIA

2.3.1 Técnica

Determinar la existencia de planos arquitectónicos, estructurales, estudios de suelos y de cualquier documento o información verbal que permita conocer datos sobre la construcción de la edificación. La información técnica es necesaria para desarrollar el estudio detallado de vulnerabilidad sísmica, además permite conocer los antecedentes de seguridad con que fue concebida la edificación.

2.3.2 Histórica

Consultar sobre la evolución de la edificación, relacionando cada acontecimiento con la fecha en que ocurrió. Algunos aspectos a tener en cuenta son: ampliaciones en área y en altura de la edificación, cambio de uso, problemas estructurales (agrietamientos, deflexiones, pandeo, otros) presentados por la ocurrencia de sismos importantes y otras amenazas externas (empujes de tierra, humedades, asentamientos del terreno, otros)

2.4 INSPECCIÓN VISUAL

Consiste en hacer un recorrido por la edificación para:

- Realizar un levantamiento arquitectónico (distribución y geometría de sus elementos) y un levantamiento estructural (identificación del sistema estructural y de sus elementos estructurales), si no se cuenta con ellos.
- Determinar el estado estructural actual de la edificación, identificando problemas en sus elementos (agrietamientos, deflexiones, pandeo, falta de adherencia entre elementos, corrosión del acero de refuerzo, otros).
- Chequear las características geotécnicas de la zona donde se encuentra ubicada la edificación, identificando problemas de suelos que pueden generar asentamientos de la cimentación, tanto de la estructura en cuestión como de las edificaciones colindantes. Se debe determinar también el efecto de los asentamientos de la estructura.
- Determinar la posible ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura, debidos a incendio, sismo, remodelaciones, acabados que hayan aumentado las cargas y otras modificaciones.

2.5 RECOLECCIÓN DE DATOS

Como ya se mencionó, la visita al inmueble es fundamental para determinar de una manera cualitativa el estado de la estructura.

El ingeniero evaluador debe estar presente en la visita de inspección de la edificación, y al mismo tiempo debe tomar fotografías, realizar videos y hacer la evaluación inicial de la edificación.

2.6 ESPECTRO DE DISEÑO S_a

Es el espectro correspondiente a los movimientos sísmicos, el valor del espectro de aceleraciones de diseño para un período de vibración dado. S_a es la máxima aceleración horizontal de diseño expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un grado de vibración T .¹

La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño.

Para períodos de vibración T menores del período corte T_c (T_c es el período de vibración en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo, T_c debe ser igual a $0.48 \cdot S$).

El espectro elástico de diseño, puede observarse a continuación, cabe anotar que para períodos de vibración mayores que T_L , ubicado en la gráfica del espectro de diseño.

¹ Ver pagina 32 del Tomo 1 de la NSR-98

2.7 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Dentro de los cuatro tipos de sistemas estructurales reconocidos por la norma NSR – 98 en su capítulo a.3.2.1, se trabajará, con el sistema de muros de carga, en edificaciones construidas en mampostería, como se explicó anteriormente en el alcance de este manual.

El sistema de muros de carga, es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos diagonales.

Dentro de este sistema de muros de carga se encuentra la mampostería estructural, que se divide a su vez en mampostería de cavidad reforzada, mampostería reforzada, mampostería parcialmente reforzada, mampostería no reforzada, mampostería de muros confinados, y mampostería de muros diafragma.

Cada uno de estos tipos de mampostería se clasifica dependiendo de su capacidad de disipación de energía en DES (Capacidad especial de disipación de energía), DMO (Capacidad moderada de disipación de energía) y DMI (Capacidad mínima de disipación de energía).

El uso de un determinado tipo de mampostería depende de la amenaza sísmica de la zona donde se ubique la edificación, además del tipo de estructura que se va a construir.

En la tabla A.3-1 de la NSR-98, se muestra los valores del coeficiente de capacidad de disipación de energía R.

Estos valores se utilizan en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una estructura, para disminuir los esfuerzos internos de sus elementos generados por la aplicación del método de la fuerza horizontal equivalente; También pueden observarse los valores de A_a para las zonas de amenaza.

Es importante anotar que, una edificación corre riesgos de fallar ante sollicitaciones sísmicas cuando no cumple con los requisitos citados en las tablas anteriores, es decir, cuando una edificación ubicada en una zona de amenaza alta es construida con muros en mampostería no reforzada que poseen una capacidad de disipación mínima de energía.

2.8 ESTUDIO DETALLADO

Mediante el estudio detallado se pretende conocer cuantitativamente el estado actual de la edificación y determinar si está en capacidad de resistir adecuadamente las sollicitaciones equivalentes definidas en la norma sismorresistente vigente (NSR – 98).

El grado de vulnerabilidad de una edificación ante una sollicitación sísmica, se puede conocer a partir de comparar los valores de resistencia admisibles de los elementos estructurales con los esfuerzos a los que se encuentran sometidos.

2.9 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para obtener los esfuerzos internos a los que están sometidos los elementos de una estructura, se aplica el método de la fuerza horizontal equivalente que se describe más adelante.

2.10 CHEQUEO Y CORRECCIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS

Luego de haber calculado los efectos de las fuerzas sísmicas en la estructura, se debe hacer el chequeo correspondiente a cada uno de los parámetros obtenidos.

2.10.1 Chequeo a cortante

Se debe hacer el chequeo para los valores de cortante obtenidos con el cálculo de las fuerzas internas de la estructura.

El valor del cortante utilizado en este caso es igual a:

Cortante del muro $< 2.0 \text{ kg/cm}^2$.

Este valor resulta de sugerencias de empresas consultoras, ingenieros expertos ó laboratorios de materiales.

Si los valores del cortante que se obtuvieron para cada uno de los muros de la estructura, en cada uno de los niveles, superan dicho valor, se debe hacer la corrección correspondiente.

El problema de un cortante alto en la estructura puede darse porque la cantidad de muros en ambas direcciones es insuficiente para atender la fuerza sísmica, o porque los muros poseen dimensiones inapropiadas (falta de longitud o de espesor) y cuando se trata de mampostería simple, la falta de refuerzo es otro factor.

También debe considerarse como una de las causas de un cortante alto es la distribución irregular de los muros en planta, lo que hace que algunos muros tomen cargas muy altas y otros no.

2.10.2 Recomendaciones y correcciones.

Dentro de las recomendaciones y correcciones que se pueden hacer del cortante que llega a los muros están:

- Aumentar las dimensiones del muro (espesor y longitud), con el fin de que el muro aumente su resistencia.
- Reforzar si es posible, o reemplazar si es necesario.
- Verificar la distribución de los muros en planta, ya que puede ser que una mala distribución genere una gran torsión en la edificación, y haga que algunos muros tomen una carga muy grande.

2.10.3 Chequeo a compresión

Se debe hacer el chequeo a compresión para todos y cada uno de los muros de la estructura.

Mediante el cálculo del área aferente a cada muro, más el peso propio, se determina la carga axial total que le llega, la cual está conformada por la carga viva más la carga muerta.

Para encontrar información del valor de los coeficientes o demás fórmulas y métodos para determinar el valor de la compresión, puede remitirse al capítulo 5.3.3.3 de la norma NSR – 98.

Se debe verificar que la resistencia a compresión del muro sea mayor que la compresión real a la que está sometido.

2.10.4 Recomendaciones y correcciones.

Cuando la compresión a la que están sometidos los muros, es mayor que la resistencia a la compresión, se deben aumentar las dimensiones del muro (espesor y longitud); o se puede reemplazar la arquitectura con un muro de mayor capacidad de disipación de energía.

2.10.5 Chequeo a flexocompresión

Debe hacerse el chequeo a flexo-compresión para todos los muros de la edificación, para esto, se deben utilizar los diagramas de interacción para el diseño de muros estructurales con refuerzo.

Cuando se trata de mampostería no reforzada, el diagrama de interacción correspondiente es $g = 0.95$, aunque debería ser $g = 1.0$ ya que no existe acero de refuerzo, pero como no se tienen el diagrama de interacción para $g = 1.0$ entonces se trabaja con el diagrama para $g = 0.95$.

2.10.6 Recomendaciones y correcciones

Obtenidos los valores X y Y , para cada muro, se entra al diagrama de interacción y se determina la localización de los puntos, si los valores X y Y del muro se encuentran por debajo de la curva 1 (la de cuantía cero (0)), quiere decir que el muro no necesita refuerzo.

Si los valores X y Y , están dentro de algunas de las curvas, se debe mirar el número de la curva y la cuantía $n\rho$ para determinar la capacidad de refuerzo que necesita el muro, por medio de la fórmula A_s , que se encuentra en el diagrama.

Si se está trabajando con mampostería no reforzada, los valores X y Y dan dentro de algunas de las curvas del diagrama, quiere decir que dicho muro necesita refuerzo a flexocompresión, entonces es necesario aumentar el espesor del muro y su longitud, con el fin de disminuir el

valor de X, para tratar de que dicho valor se acerque a la curva de cuantía de acero cero (0). Si no es posible se debe reemplazar por un muro reforzado nuevo.

2.11 PROPUESTA ESTRUCTURAL

Está encaminada a reducir la vulnerabilidad sísmica de la vivienda que no cumplen con las Normas de Diseño y Construcción Sismorresistente y a mantener el nivel de seguridad para el que fueron concebidas dentro de este reglamento y que se deben modificar. Existen tres tipos de modificaciones del sistema estructural avalados por la norma NSR – 98.

2.12 ANÁLISIS DE CARGAS (TÍTULO B NSR – 98)

Es importante tener en cuenta el análisis de las cargas, ya que dentro del análisis estructural, por el método de la fuerza estructural equivalente, se analizará la estructura para la combinación de cargas más críticas, es por esta razón, que deben considerarse todas las cargas posibles que afectan la estructura. A continuación se mencionan las cargas más importantes, su valor para el análisis y la definición:

2.12.1 Cargas verticales

Se componen de todas aquellas cargas provenientes de los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, como el peso que

aporta la cubierta, el peso propio de los muros, el peso de la losa y el peso de los acabados como revoques, baldosas y enchapes.

Las cargas verticales totales se obtienen de la suma de cargas muertas más las cargas vivas.

2.12.1.1 Cargas muertas.

La carga muerta cubre todas las cargas de los elementos permanentes de construcción, incluyendo su estructura, los muros, los pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son acusadas por la ocupación y el uso de la edificación.

Al calcular las cargas muertas deben utilizarse las masas reales de los materiales.

2.12.1.2 Cargas vivas:

Son las cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no deben incluir cargas ambientales tales como el viento, sismo, ni la carga muerta. En las cubiertas, las cargas vivas son causadas por materiales, y trabajadores utilizados en el mantenimiento y durante la vida de la estructura las causadas por objetos móviles y por personas que tengan acceso a ellas.

2.12.2 Cargas horizontales.

Las cargas horizontales son producidas por las fuerzas sísmicas inducidas por los movimientos sísmicos de diseño.

2.13 MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

La información correspondiente a este método se encuentra disponible en el Capítulo A.4 norma NSR – 98

2.14 CENTRO DE MASA Y CENTRO DE RIGIDEZ

La determinación del centro de masa CM, y el centro de rigidez CR, es fundamental para la obtención de los efectos torsionales producidos por la no coincidencia de dicho centros, debido a que por los efectos de las fuerzas horizontales, la estructura tiende a rotar sobre su centro de rigidez.

- Centro de Rigidez: El centro de rigidez CR, es el punto (en planta) o el eje (en altura) donde se puede concentrar toda la rigidez de la estructura.
- Centro de Masa: El centro de masa CM, es el punto (en planta) o el eje (en altura) donde se puede concentrar toda la carga vertical y horizontal de la estructura.

En los sistemas de muros, la rigidez en el sentido perpendicular al plano del muro se desprecia, luego el centro de rigidez se calcula haciendo momentos de rigidez de cada muro con respecto al eje de referencia dividido por la rigidez total de la edificación en el sentido considerado.

En el caso del centro de masa, este normalmente coincide con el centro geométrico de la edificación.

2.15 EFECTOS TORSIONALES

En el análisis estructural debe tenerse en cuenta los efectos de torsión en el piso, de acuerdo con los distintos tipos de torsión que se aplican, y que veremos a continuación, y considerando que estos provienen, o bien, de la incertidumbre por la localización de las masas dentro del piso, lo cual conduce a una torsión accidental, o bien debido a la excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, cuando los diafragmas se consideran rígidos en su propio plano.

2.15.1 Torsión accidental

Debe suponerse que la masa de todos los pisos está desplazada transversalmente, hacia cualquiera de los dos lados, el centro de masa calculado de cada piso, una distancia igual al 5% de la dimensión de la edificación en ese piso, medida en la dirección perpendicular a la dirección en estudio.

El efecto de la torsión que se genera debe tenerse en cuenta en la distribución del cortante de piso a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica.

2.15.2 Torsión debida a la no coincidencia del centro de masa y el centro de rigidez.

Cuando el diafragma puede considerarse rígido en su propio plano, debe tenerse en cuenta el aumento de los cortantes sobre los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica debida a la distribución, en planta, de la rigidez de los elementos del sistema de resistencia sísmica.

Si el centro de masa y el centro de rigidez no coinciden, la fuerza horizontal inducida por el sismo, producirá un momento de torsión alrededor del eje de rotación de la estructura.

2.15.3 Diafragma rígido en su propio plano.

El diafragma puede suponerse rígido en su propio plano cuando se dispone su rigidez y su resistencia de tal manera que esté actúe como una unidad y sus propiedades de masa y de rigidez se puedan concentrar en el centro de masa y en el centro de rigidez respectivamente.

2.15.4 Momento torsional.

El momento torsional de cualquier nivel de la estructura se obtiene como la suma de las torsiones de diseño de todos los niveles localizados por encima del nivel de estudio.

La porción de la torsión aportada por cada nivel se obtiene como la torsión accidental del nivel, más el producto de la fuerza sísmica horizontal, correspondiente a ese nivel por una dimensión igual a la proyección, en dirección perpendicular a la dirección de las fuerzas, de la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez del nivel.

2.16 NORMATIVIDAD PARA UN ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.

Con la intención de cubrir totalmente un problema de vulnerabilidad sísmica y hacerlo de manera organizada y sistemática, se presenta a continuación una guía para la evaluación y el diseño, adaptada de la norma NSR – 98. El desarrollo de esta guía consiste en seguir una serie de pasos, comprendidos dentro del siguiente grupo de actividades:

1. Estudio preliminar de la edificación para determinar, de una manera cualitativa, su estado estructural actual.
2. Estudio detallado para cuantificar numéricamente la capacidad de respuesta de la estructura ante una eventualidad sísmica.

3. Propuesta estructural para reducir la vulnerabilidad sísmica y cumplir con el propósito del estudio de vulnerabilidad, descrito anteriormente.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 METODOLOGÍA GENERAL

Como primera medida con el apoyo de la Escuela, se realizó una capacitación en vulnerabilidad sísmica liderado por el Ingeniero Pedro Luis Escobar Ruiz, quién es el encargado directo de los grupos de trabajo dispuestos a realizar los estudios de vulnerabilidad. En la capacitación se brindó la oportunidad de utilizar un software aprobado por la escuela y realizado con el aporte de generaciones anteriores, las que habían a su vez trabajado en estudios de vulnerabilidad también en asocio con el ingeniero Escobar.

Posteriormente avanzó la capacitación, se realizó una visita al departamento de Planeación del Municipio de Envigado, donde se definieron los grupos de trabajo y se determinó el sitio del análisis.

Una vez asignada la edificación se realizaron visitas para analizar su estructura y reconocer daños. Inicialmente no se tuvieron planos de la edificación y este fue el primer obstáculo que debió ser superado; así pues se realizó el levantamiento de los planos de la edificación.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

A medida que avanzaba el proceso se definió la siguiente metodología:

- Levantamiento arquitectónico de la edificación.
- Estudio de planos arquitectónicos e identificación de posible elementos estructurales.
- Visita a la edificación para: identificar sistema estructural y elementos estructurales, evaluar el estado de la estructura y determinar la calidad de los materiales.
- Análisis de la información y evaluación de la vulnerabilidad sísmica en el software proporcionado por la Escuela.
- Propuesta para reducir la vulnerabilidad sísmica.
- Diseño de elementos estructurales propuestos y presupuesto de las propuestas.
- Corrección de planos arquitectónicos y estructurales.
- Elaboración de nuevos planos.
- Entrega del estudio al Departamento de Planeación del municipio de Envigado y a la Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Presentación y exposición del trabajo realizado.

4. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

4.1.1 Mampostería actual

Actualmente la edificación se encuentra construida con bloque de arcilla que presentan una resistencia de $28,8 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.2 Mampostería propuesta

Se proponen realizar las propuestas con Bloques de concreto cuya resistencia sea 90 kgf/cm^2 , los cuales se colocarán de canto para obtener muros de 15 cm de espesor.

4.1.3 Concreto propuesto

Para rellenar las celdas que posean refuerzo, se utilizará un concreto grouting cuya resistencia no sea inferior a 150 kgf/cm^2 .

4.1.4 Acero propuesto

Se utilizará un acero 1033 corrugado grado 60.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y CIMENTACIÓN



Foto No. 1 Vista Frontal de la Edificación.

La cual nos muestra la fachada de la edificación correspondiente al análisis, la edificación cuenta con dos niveles, los cuales se encuentran separados por losas nervadas unidireccionales, además la vivienda no tiene estructura de techo sino otra losa dispuesta de tal forma esto con el fin de ampliar en un futuro los niveles de la misma.

4.2.1 Grupo de uso

La edificación está catalogada según la norma de construcción sismorresistente NSR – 98, en el grupo de uso 1.

4.2.2 Sistema estructural

El sistema estructural de la edificación es el de muros de mampostería no confinada no reforzada.

4.2.3 Tipo y número de placas

Las placas son losas nervadas con nervios de 10 cm de espesor, las cuales se encuentran reforzadas con 2 varillas corridas corrugadas de acero grado 60 de diámetro 3/8 de pulgada y poseen estribos de iguales características colocados cada 20 cm. Ambas placas son unidireccionales.

La edificación cuenta con dos placas de concreto, una de ellas de entrepiso y la otra una placa de techo.

4.2.4 Altura máxima

La edificación posee dos niveles de 2.40 m cada uno, la altura total de la edificación es de 4.80 m.

4.2.5 Tipo de cimentación

La cimentación de la edificación está conformado por una losa corrida de concreto.

4.2.6 Capacidad portante

La capacidad portante del suelo en la zona donde está construida la edificación es de 1.0 kg/cm².

4.3 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Una vez se realizó el análisis de vulnerabilidad de la edificación, se encontraron una serie de problemas, que se describen a continuación: (Ver tabla 1 y 2)

- En el primer nivel se presentan problemas de rigidez, esto se producen ya que en la dirección x existen muy pocos elementos estructurales dispuestos a atender la carga vertical propia de la edificación y la fuerza

sísmica.

- En el segundo nivel se presentan problemas de rigidez, esto se producen ya que en la dirección x existen muy pocos elementos estructurales dispuestos a atender la carga vertical propia de la edificación y la fuerza sísmica.
- En la edificación se nota la ausencia de elementos estructurales, ya que la continuidad que deberían tener los muros en ambos niveles, no se encontró.
- Dada la falta de espacio y las condiciones arquitectónicas de la edificación, se dificulta la creación de nuevos elementos y la filosofía de las reformas estará enfocada a mejorar las condiciones de los existentes.
- Algunos muros se encuentran sometidos a altas esfuerzos de tracción, situación se puede atender con las barras de refuerzo que se colocarán en los extremos de los muros tal como se describe más adelante en las recomendaciones constructivas.

4.4 FORMULACIÓN DE PROPUESTAS

4.4.1 Propuestas estructurales para mitigar la vulnerabilidad

Identificados los problemas de la edificación, se recurre a lo siguiente para su mejora: (Ver tabla 3 y 4)

- Para corregir la poca rigidez del primer nivel, se dispone la construcción de un nuevo muro, el cual une los muros identificados como 3x y 4x en los planos estructurales actuales. Dicho muro se construirá en mampostería de concreto, reforzándolo según el diseño anexo y utilizando los materiales allí especificados.
- Los problemas de rigidez que se presentan en el segundo nivel, se corregirán con la construcción de un nuevo muro que reemplaza el actual nombrado como 1x en los planos arquitectónicos actuales de la edificación. Dicho muro se construirá en mampostería de concreto, reforzándolo según el diseño anexo y utilizando los materiales allí especificados.
- Los elevados esfuerzos de tracción que se presentan en algunos muros, se controlarán restringiendo el movimiento vertical relativo que puede presentarse entre las placas de la edificación, para ello se instalarán una serie de barras de acero 1033 corrugado fijados con anclajes epóxicos entre el piso y la placa según el diseño anexo.

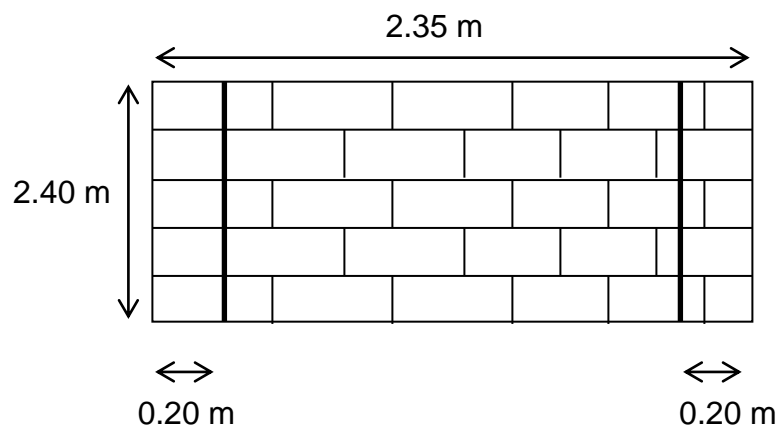
4.4.2 Graficas descriptivas de las propuestas estructurales.

4.4.2.1 Refuerzo a flexión

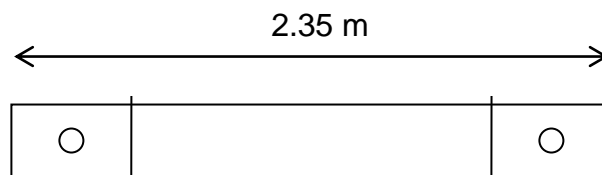
4.4.2.1.1 Primer Nivel

- Muro nuevo primer nivel. (X7) Varillas $\phi = 3/8$ " (ver tabla 7)

VISTA EN ELEVACIÓN

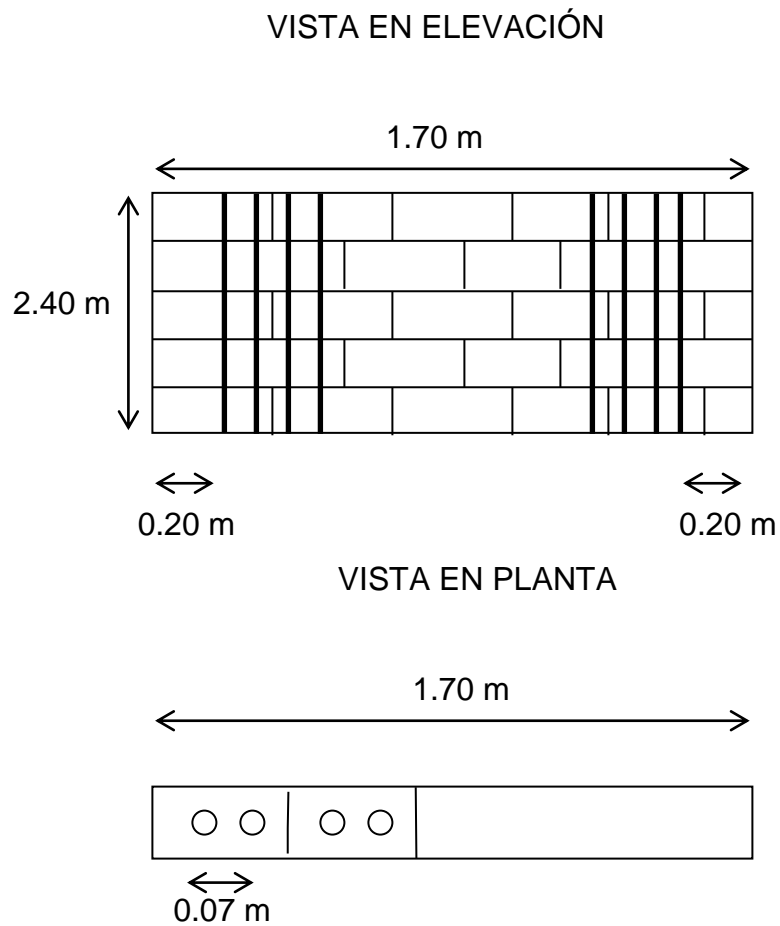


VISTA EN PLANTA



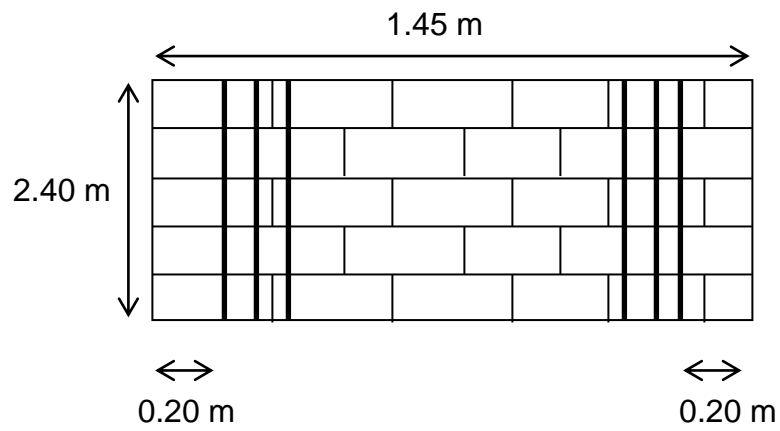
4.2.2.1.2 Segundo Nivel

- Muro nuevo segundo nivel. (X1) Varillas $3\phi = 5/8$ " y $1\phi = 1/2$ " (ver tabla 8)

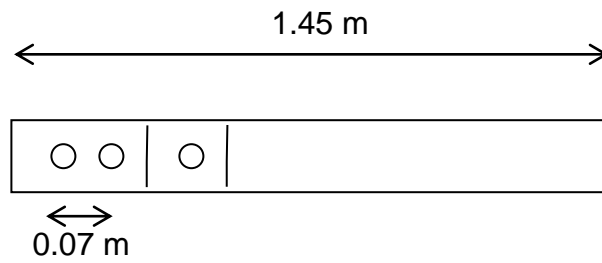


- Muro nuevo segundo nivel. (X3) Varillas $3\phi = 5/8$ " (ver tabla 10)

VISTA EN ELEVACIÓN

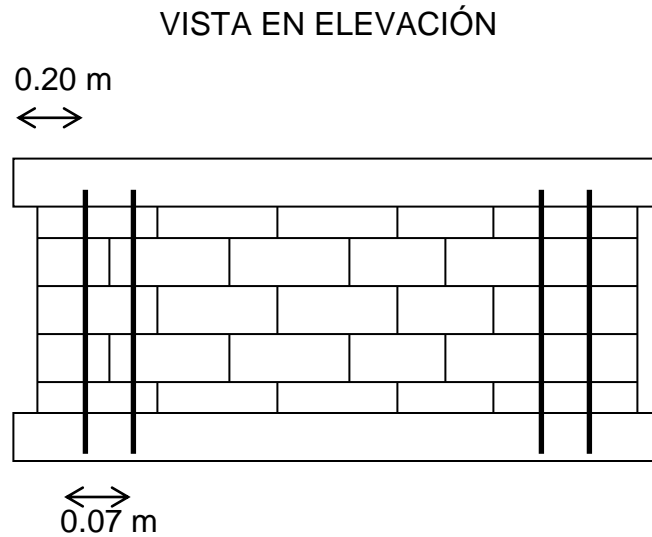


VISTA EN PLANTA



4.4.2.2 Refuerzo a tracción (Esquema general)

Se muestra la profundidad del anclaje epóxico de las barras de refuerzo a tracción.



La separación entre varillas será de mínimo 7 cm y la profundidad del anclaje será la especificada en el diseño.

4.4.3 Costos de las propuestas

El costo total para implementar las propuestas disminuir la vulnerabilidad de la estructura asciende a \$ 492.850 (Cuatrocientos noventa y dos mil ochocientos cincuenta pesos) como se detalla en la tabla correspondiente presentada más adelante en las tablas de cálculos.

CONCLUSIONES

- Después de conocer el estado actual de la edificación, su historia constructiva y desarrollo, se identificaron los elementos estructurales más susceptibles a fallas en el momento de una solicitación sísmica, los cuales fueron resueltos como se determina en las propuestas estructurales para que el conjunto completo de los elementos que hacen parte de la estructura puedan interactuar de manera efectiva reduciendo de forma considerable la vulnerabilidad del inmueble y de esta forma pueda ser legalizado el predio por el municipio de Envigado.
- Se adquirió experiencia en los temas de análisis de vulnerabilidad y de repotenciación estructural en edificaciones construidas con mampostería simple que presentan deficiencias estructurales.
- Se toma conciencia de la necesidad que tiene la población de bajos recursos de soporte técnico por parte de los ingenieros civiles para que puedan realizar sus construcciones de una forma legal, de buena calidad y sin incurrir en extracostos por futuras remodelaciones como las que se plantean para la casa objeto de estudio. El soporte que los ingenieros deben dar a estas personas debe ser a través de corporaciones o instituciones como la EIA para que estas personas tengan manera de acceder a esto, ya que en el mercado dichas asesorías tienen un alto costo.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

1. Los muros que se construirán en mampostería de concreto, deben llevar en las celdas que estén reforzadas, un relleno con grouting dosificándolo con 5 partes de arena para concreto por una parte de cemento.
2. Los muros que se reforzarán con anclajes epóxicos, deben cancharse hasta 20 cm partiendo del borde de cada muro, el anclaje debe seguir el eje del muro y el resane del muro debe hacerse con un grouting de iguales especificaciones a las dadas en la nota 1.
3. La separación mínima entre varillas debe ser de 7cm.

BIBLIOGRAFÍA

- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR – 98, Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica. Tomo 1. Bogotá – Colombia 1998.
- Guía Simesa para Ingenieros Calculistas, Constructores e Interventores de Estructuras de Concreto. Decimosexta Edición. Medellín – Colombia. 1999.
- Cartilla de la asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS: Construcción sismorresistente de viviendas de uno y dos pisos de mampostería.
- Serie de charlas dictadas por el Ingeniero Pedro Luis Escobar Ruiz.

ANEXOS